

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第三名

030801

為生命找到出路

學校名稱：桃園市立東興國民中學

作者： 國二 陸柏丞 國二 楊傑鈞 國二 車金城	指導老師： 蕭雅夫 陸瑞強
---	-----------------------------

關鍵詞：閃燃、煙霧偵測、火災防護

摘要

近來幾個重大的火災事故引起大家的注意，火災發生的當下，強化玻璃給予救災者的搶救與受難者的逃生都帶來極大的阻力，因此我們透過此研究找出解決的方法。在本研究中，我們設計出一套裝置，能在災害發生之初偵測到有毒氣體濃度的變化以產生告警訊號，並在有毒氣體濃度高升時發揮作用排除有毒氣體並擊破強化玻璃。除應用在火災事故中增加逃生機會外，尚可在居家環境中偵測瓦斯洩漏或不完全燃燒導致一氧化碳中毒等危機，可大幅減少生命與財產的損失。

壹、研究動機

在 2016 年的 7 月 19 日，發生了可怕的火燒車意外，為我們帶來極大的震撼，在意外發生前，相信旅人們正快樂的訴說台灣的美麗，分享著他們在旅程中的所見所聞，但一場無情的大火，讓 26 條寶貴的生命，隔著一層薄薄的玻璃，消逝在大家的眼前，無一倖免！！

雖然這場災難發生重大傷亡的原因錯綜複雜，但相信所有的人都有了一個共同的想法，怎麼不打破玻璃逃生？我們在校外教學時，我們的領隊都有細心的解說車上的逃生門位置，以及如何使用玻璃擊破器！！後來我們在電視節目中看見曾經遭遇火燒車的民眾分享當時的經驗，我們才理解到，在密閉空間發生火災時，人們會處於極度慌亂的情緒中，加上濃煙對感官的刺激與濃煙產生之快速，都超乎人們的想像。更有消防隊員現身說法，就算是身上裝備精良，也難逃火場的兩大殺手，濃煙與閃燃！！現代的高樓建築常使用強化玻璃作玻璃帷幕，及時將它們擊破對於救災而言是重大的進展。

我們的理化老師更在課堂中細說著過往類似的案例，我記得的有台中衛爾康餐廳火災(64 死 11 傷)，平鎮的健康幼稚園火燒車(23 死 9 傷)，尊龍火燒車(6 死 4 傷)等等，我們上網查了一下，真的是驚呆

了，這樣的悲劇可說是不勝枚舉。

在我們幾個好朋友聊天之中，我們有一個共同的想法，我們要設計一套裝置，解決或改善這樣的問題！！

感覺我們胸口的血，都熱了起來！！

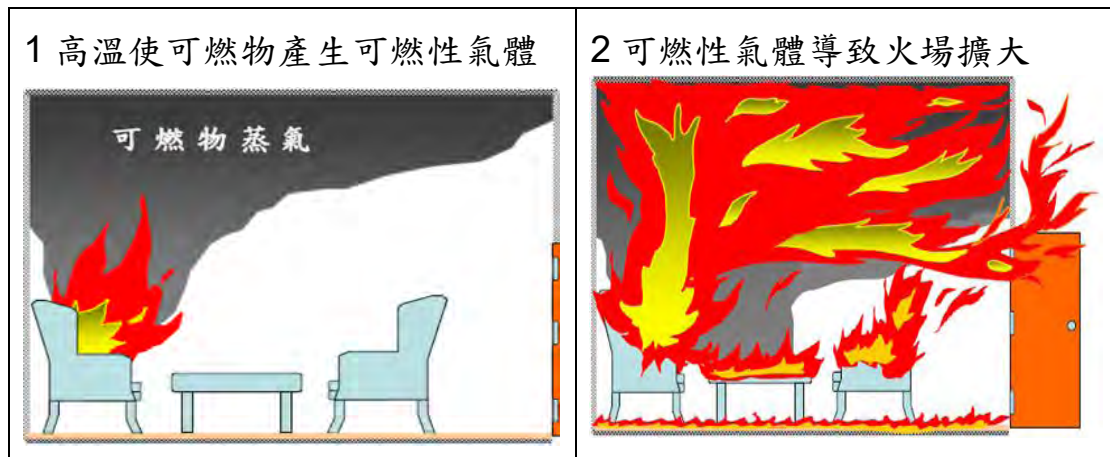


(圖 1) 玻璃的後面，是人間的煉獄！

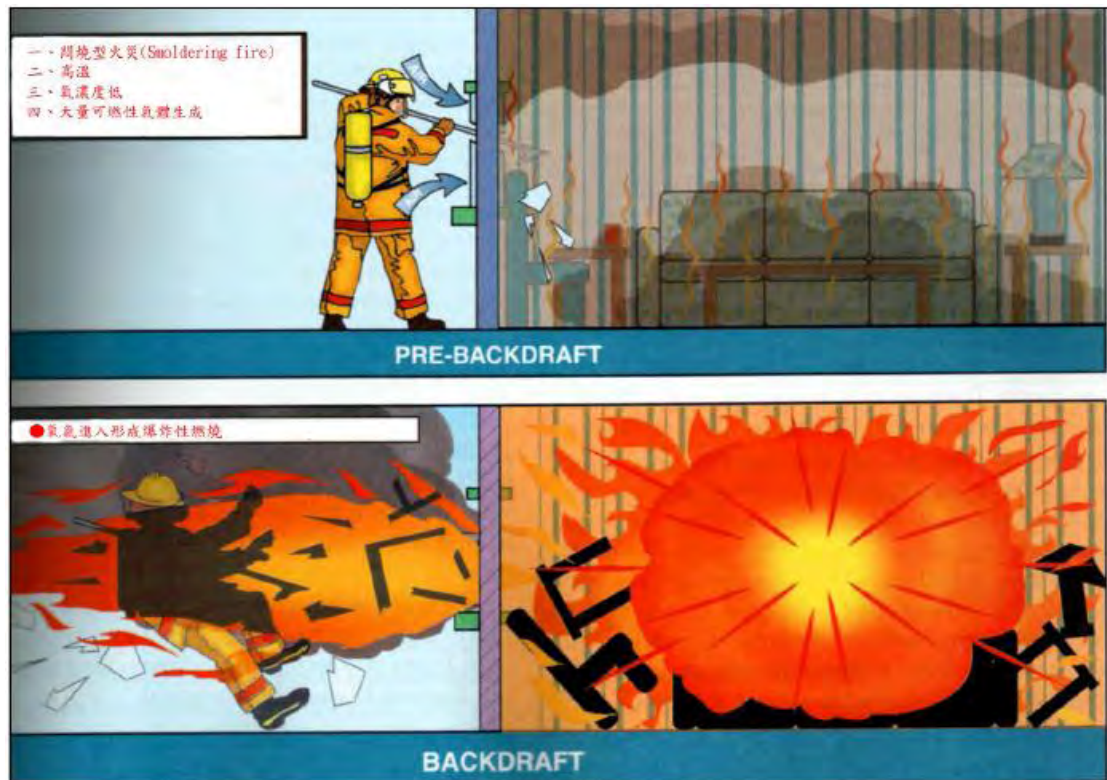
貳、研究目的

火災發生通常會經歷初期、成長期、最盛期及衰退期，也有人將火災分七個階段，不管怎麼劃分，火災中對人體殺傷力最大的實際是煙霧等氣體而非高溫的火。

一般火災發生之後，熱煙往上跑，跑到天花板之後，上不去了就出現水平擴散的現象，然後煙層越積越低，在煙層蓄積的同時，煙裡面的高溫也一直持續在加熱裂解起火房間內可燃性物質，產生大量的可燃性氣體，等到這些可燃性氣體累積達到爆炸濃度下限時，就會同時起火，這也是閃燃發生之時刻。如果火場的條件更加的特殊；符合密閉，能造成壓力的蓄積的特性，就可能發生更可怕的爆燃，而爆燃的瞬間常發生於救災者因救災需要，破門而入的那一瞬間，嚴重威脅救災者的生命安全。所以，能在氣體濃度尚未大幅提高前解除房間的密閉狀態，相當重要。



(圖 2) 閃燃之發生歷程



(圖 3) 爆燃之發生

為了瞭解火場實際的狀況，我們實際電話訪問桃園市政府消防局鄭安平技正，經由他專業說明，了解到真正的火場有多可怕。據他表示，在火場中平均只有3分鐘甚或更短的逃生時間！！此外，一般人誤解火災現場應該是火光四射，實際上火場是黑暗的！！在真正的火

災現場什麼都看不到，陷入其中宛如全盲，無法以視覺迅速找到逃生出口。

技正更進一步說明，其實濃煙及有毒氣體比火焰更致命，火場內的濃煙辛辣有毒，且濃煙中一氧化碳無色無臭卻使吸入者意識模糊，喪失逃生能力。另外只要吸入一口一百五十度的熱空氣，就能使人完全喪失活動能力，所以逃生要領就是儘量採取低姿勢，且可藉此呼吸新鮮空氣。

我們另外採訪了資深導遊小胖先生，據他表示，目前遊覽車業者為了乘客安全，一定會進行 遊覽車安全宣導，但仍有相當比例的乘客忽略這個重要資訊。此外，車上各種的安全設施，包含：滅火器、防煙面罩、車窗擊破器、安全門、逃生天窗等等操作，都需要反覆練習，才能有效操作，但在意外發生的當下，乘客往往失去理性，無法正確操作這些安全設施，只剩下求生的本能，逃跑!!或是爬出去!!!

如果這時候安全門、車窗能自動開啟或擊破就好了!!

消防安全講師 蔡安雄更是說出心裡深層的恐懼，他在每一次的消防安講習中都一再提到，他必定會隨身攜帶一隻戰術鋼筆，準備在意外發生時能第一時間擊破強化玻璃。

透過我們對這些災難深入的研究之後，我們的研究方向已經相當明確，我們想要開發一套裝置，它能在火災發生的第一時間，發出警告聲，並在危急時刻擊破強化玻璃，幫助人員逃生，並使救災任務順利進行，減少在一線救災的消防隊員暴露在閃燃與爆燃的風險之中。

本研究希望透過分析火災時濃煙、閃燃（Flashover）與爆燃（Backdraft）的發生原因，設計一套裝置偵測火災發生前有毒氣體的濃度變化，運用這套裝置，能在緊急時刻自動反應，以降低這類火災發生時造成的生命與財產損失。

參、研究設備與儀器

下面列出我們曾在研究過程中使用過的設備、元件與儀器介紹，部分元件可能因不適合的關係，並未整合至最終的成品。

表 1 研究設備一覽表

元件名稱與圖示	說明
<p>MQ-9 氣體感測器</p> 	<p>MQ-9 氣體感測器的電導率隨濃度增加而增大，使用簡單的電路即可將電導率的變化，轉換為與該氣體濃度相對應的輸出信號。</p> <p>MQ-9 氣體感測器對一氧化碳、甲烷、液化石油氣偵測的靈敏度高，可檢測多種含一氧化碳及可燃性的氣體。</p>
<p>三用 電表</p> 	<p>可測直流電壓、交流電壓、直流電流、交流電流、電阻、電容。導通檢測。</p>
<p>Arduino 藍芽模組</p> 	<p>通訊距離：空曠條件下 10M，正常使用環境 8M 左右。</p> <p>配對後只需要當成固定速率的串列埠，8 位數據位，無奇偶校驗”。適合手機跟設備間通過藍牙串列埠配對通信。</p>
<p>帶燈按壓 式開關</p> 	<p>12mm 金屬按壓自鎖型觸動開關,環形帶燈</p>

<p>繼電器</p> 	<p>控制電壓：5V 額定負載：10A 250VAC，10A 30VDC</p>
<p>伺服馬達</p> 	<p>工作電壓：4.8V~6.0V 失速轉矩（4.8V）：1.5Kgf.cm 工作速度（4.8V）：空載 0.12 Sec / 60°</p>
<p>Arduino 控制器</p> 	<p>採用 Atmel Atmega328 單片機，支持外接 5V~12V 直流電源供電 12 個數位輸入/輸出埠，8 個模擬輸入埠，1 對 TTL 電平串口收發埠 RX/TX，6 個 PWM 埠，支持 ISP 下載</p>
<p>IIC 5V LCD 2004A</p> 	<p>供電電壓：+5V 支持 I2C 協議 具有背光燈，和對比度調節電位器</p>
<p>smart sensor AR8700A</p> 	<p>一氧化碳測量範圍：0~1000ppm <ul style="list-style-type: none"> • 溫度測量範圍：0~50.0°C • 具有警報設定功能 • 具有自動溫度補償功能 • 可紀錄最大值、最小值及讀值鎖定功能 </p>

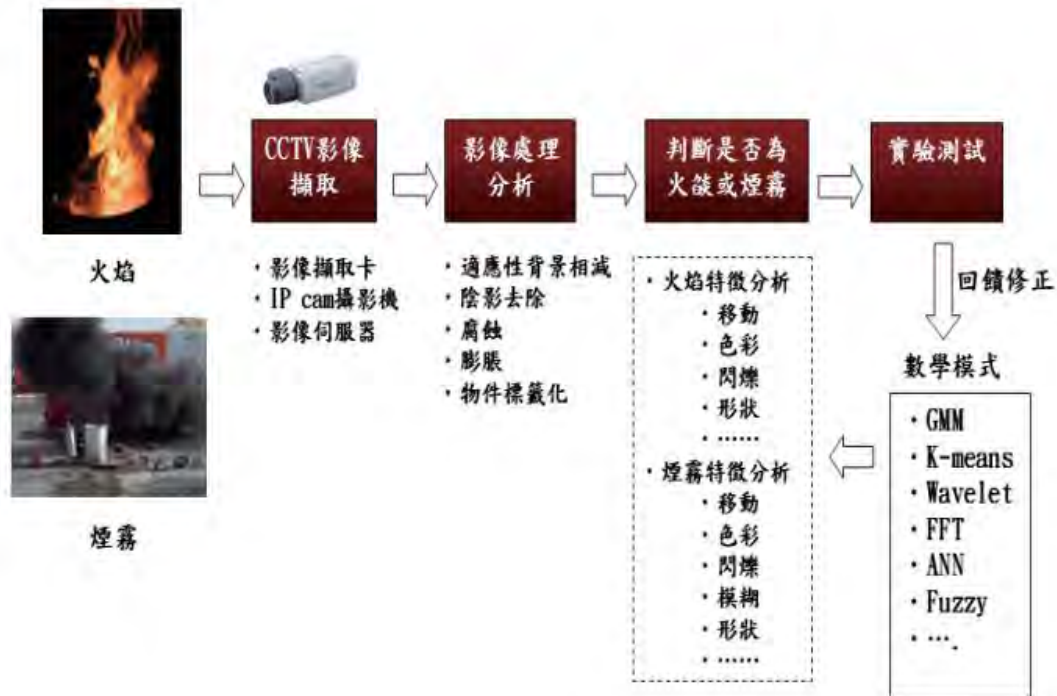
肆、研究過程與方法

4-1 Sensor 選定

首先我們就火場可能產生的特徵進行了解，要如何讓我們的儀器在第一時間偵測到火災的發生。根據資料研究，火災發生有以下幾種現象：1. 火光、2. 溫度上升、3. 氣體與濃煙。以下我們就這三項特徵進行分析，以找尋最適合的偵測器。

4-1-1 火光偵測

就火光而言，是火災重要特徵，對火光的偵測其實也相當容易，目前已經有成熟技術應用於生活中，例如 VFDS(視覺型火災偵測系統) 係藉由攝影機或其他相容視訊裝置擷取現場影像，利用電腦即時分析視訊影像，若確認屬火焰或煙霧影像，將發出警報通知監控人員，該警報並可連動自動消防滅火系統以便及時啟動抑制火災。



(圖 4). 視覺型火災偵測原理

但這套系統仍存在一些使用上的限制，例如，建置與維護成本較高，較適合高端的建築，例如研究機構、豪宅或貴重物品及珍貴歷史文物的大型倉儲，較無法廣泛的應用於一般生活中。另外，火災的發生常常是由於電氣設備引起，其中當然也包含電線走火，這樣類型的火災發生通常火光會暫時被機殼或建築本體及裝潢建材所掩蔽，等到現象外顯時，火災規模已經擴大，錯失搶救的第一先機。

表 2 104 年台灣火災起火原因統計表

		人為縱火	自殺	煙燭	燻火烹調	敬神掃墓祭祖	菸蒂	電氣設備	機械設備	玩火	施工不慎	瓦斯漏氣爆炸	化學物品	燃放爆竹	交通事故	原因不明	其他	合計
104 年	火災次數	268	21	18	72	45	147	582	29	13	38	28	5	27	18	17	376	1,704
	百分比%	15.7	1.2	1.1	4.2	2.6	8.6	34.2	1.7	0.8	2.2	1.6	0.3	1.6	1.1	1.0	22.1	100
103 年	火災次數	213	27	6	69	43	146	451	30	12	42	16	8	19	6	25	304	1,417
增減情形		55	-6	12	3	2	1	131	-1	1	-4	12	-3	8	12	-8	72	287

4-1-2 溫度偵測

溫度感測是相當成熟的技術，但絕大部分的情況，一開始火場溫度上升只發生在局部(起火點)，如果我們需要第一時間偵測到火災發生，偵測器的建置密度與數量一定相當驚人，難以真實應用於生活中。如果偵測器的密度不夠，要偵測到溫度上升，通常必須要火災規模發展到一定程度，以大樓中的火災自動灑水系統為例，雖能有效滅火，阻止火災擴大到其他房間，但對於像遊覽車這樣狹小的侷限空間，顯然不適合。



(圖 5) 自動灑水系統

4-1-3 氣體與濃煙偵測

燃燒是劇烈的氧化反應，絕大部分的情況，助燃劑是氧氣，當燃燒發生，會立即快速的改變空氣中的組成，並且在熱對流現象的幫助下，燃燒後的氣體產物會快速的上升，並且於侷限空間中的頂部蓄積，看來若以氣體與濃煙偵測，應能在低成本的條件下，最快發覺火災的發生，提早做出反應，降低災損。我們決定以氣體與濃煙偵測作為火災發生判定的依據。

一般火災現場可燃物通常為木製家具，聚合物(塑膠)製成用品、窗簾、衣物等等，一般燃燒最可能產生的氣體，如下所列：

1. 水氣：大部分含氫元素可燃物。
2. 二氧化碳：大部分含碳元素可燃物。
3. 一氧化碳：大部分含碳元素可燃物，氧氣不足下燃燒產生。
4. 氯化氫：產生於 PVC 材料在燃燒中的分解。
5. 氰化氫：奧倫、尼龍、棉織品、聚亞安酯、尿素-甲醛和 ABS。
6. 二氧化氮：通過燃燒硝酸鹽纖維素產生。
7. 甲烷氣：缺氧悶燒高溫裂解。
8. 懸浮微粒(濃煙)：碳粒可能攜帶重金屬或其他致癌物質。
9. 其他

在眾多的氣體中，我們選定一氧化碳與甲烷。因為偵測技術成熟，不容易誤判。再加上研究期間適逢寒流來襲，一氧化碳中毒事件不斷發生，更加堅定了我們的選擇。這讓我們的裝置應用可以擴及火災以外的一氧化碳中毒與瓦斯外洩的防範。

研究資料得知，奈米半導體材料在遭受環境改變時，例如與氣體接觸或溫度的改變，會產生導電能力的變化，若在極性的奈米材料中添加其他非極性材質，其變化會更顯著。我們更進一步發現，二氧化錫(SnO_2)等半導體氣體感知器在市面上已經有成熟的商品。為了確認

此偵測器的性能符合我們的需求，我們需要進一步了解它的工作原理。

4-1-3-1 半導體氣體感測器工作原理

縱觀目前各家所用原理，我們可以把氣體濃度感測器看成是電阻變化型感測元件。當待測氣體（如 H_2 、 CO ...）接近且與 SnO_2 表面的氧作用時，吸附的氧離子與還原氣體反應，使 SnO_2 的導電性增加。感測器的電導率隨空氣中一氧化碳氣體濃度增加而增大，使用簡單的電路即可將電導率的變化，轉換為與該氣體濃度相對應的輸出信號。

研究多種氣體感測器後，最後我們選用 MQ-9 氣體感測器。其所使用的氣敏材料是在清潔空氣中電導率較低的二氧化錫(SnO_2)，採用高低溫迴圈檢測方式，低溫（1.5V 加熱）檢測一氧化碳，高溫（5.0V 加熱）檢測可燃氣體甲烷、丙烷並清洗低溫時吸附的雜散氣體。

MQ-9 氣體感測器對一氧化碳、甲烷、液化石油氣偵測的靈敏度高，這種感測器可檢測多種含一氧化碳及可燃性的氣體，是一款適合多種應用的低成本感測器。

4-1-3-2 MQ-9 氣體感測器特性（參考原廠 datasheet）

假設在一般空氣中氣體感測器之輸出值為 x ，在含有煙霧之空氣中氣體感測器之輸出值為 y ，可先求出分別對應的 R_x 、 R_y

$$R_x = (1024 - x) / x$$

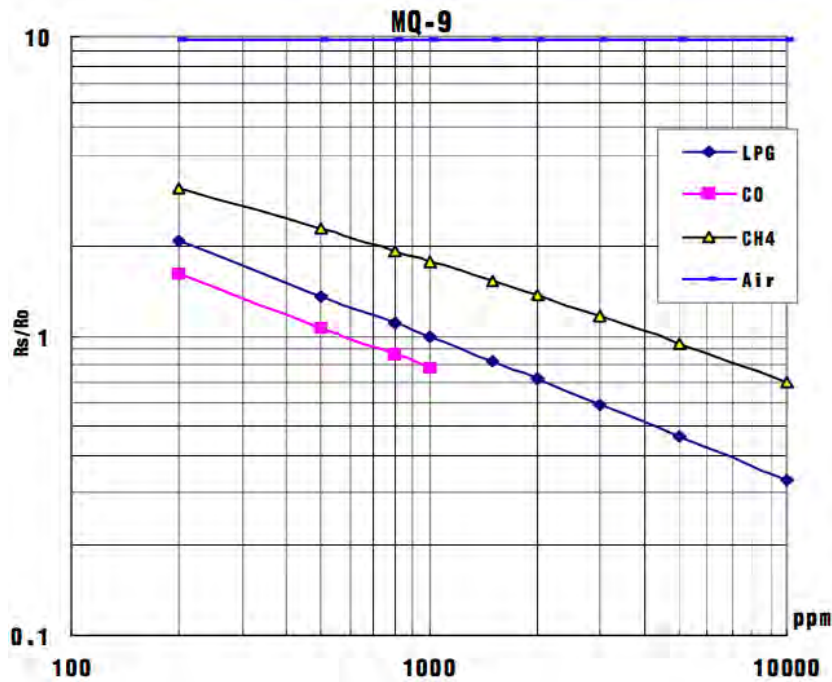
$$R_y = (1024 - y) / y$$

再用 R_x 、 R_y 計算

$$\begin{aligned} R_s / R_0 &= R_x / R_y \times 9.9 \\ &= \frac{(1024 - x) / x}{(1024 - y) / y} \times 9.9 \\ &= \frac{x}{y} \times \frac{1024 - y}{1024 - x} \times 9.9 \end{aligned}$$

在我們的測試下，得知 $x=60$

$$R_s / R_0 = \frac{60}{y} \times \frac{1024 - y}{1024 - 60} \times 9.9$$

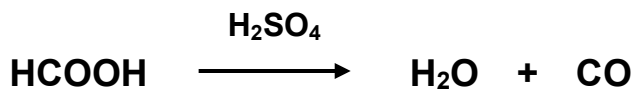


(圖 6) MQ-9 氣體感測器特性曲線

4-1-3-3 MQ-9 氣體感測器校正

為了使我們的裝置應用可以擴及火災以外的一氧化碳中毒與瓦斯外洩的防範，我們下定決心進行系統對氣體濃度偵測的校正。

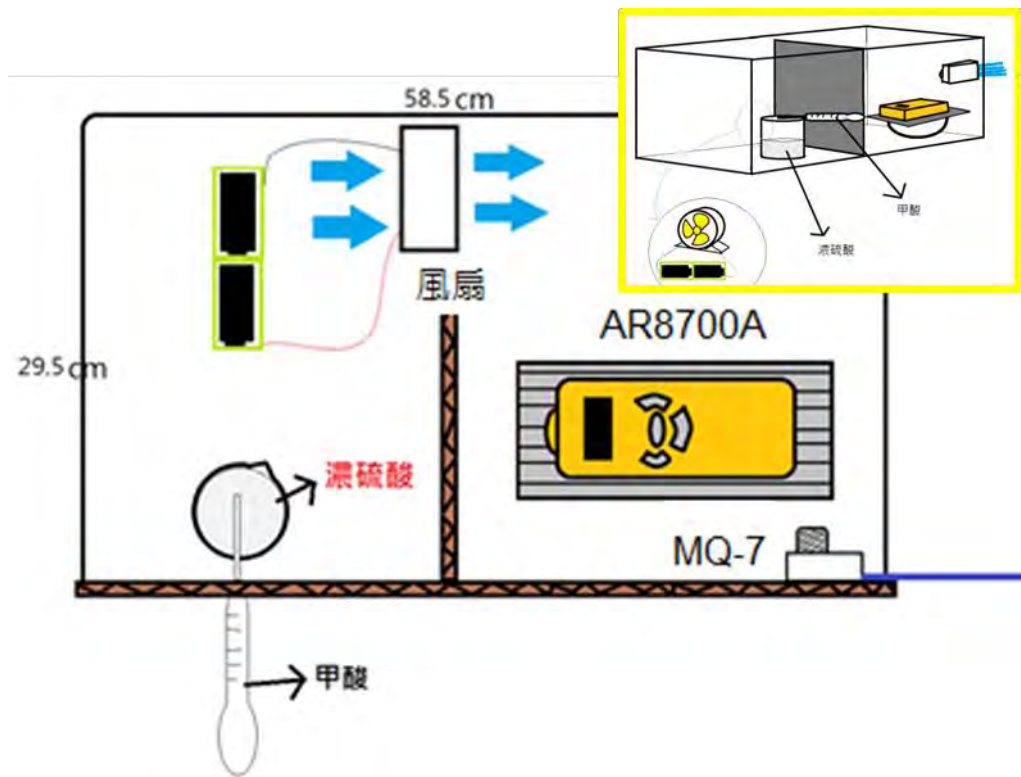
在實驗室中可將濃硫酸滴入甲酸裂解以製取一氧化碳



我們使用甲酸透過濃硫酸脫水，產生純粹的一氧化碳。與市售一氧化碳偵測標準儀器(smart sensor AR8700A)同時進行一氧化碳濃度偵測，以即時錄影的方式記錄數據，以便進行數據分析。

實驗設計如下，我們使用大型水族箱形成一個封閉空間，預先將

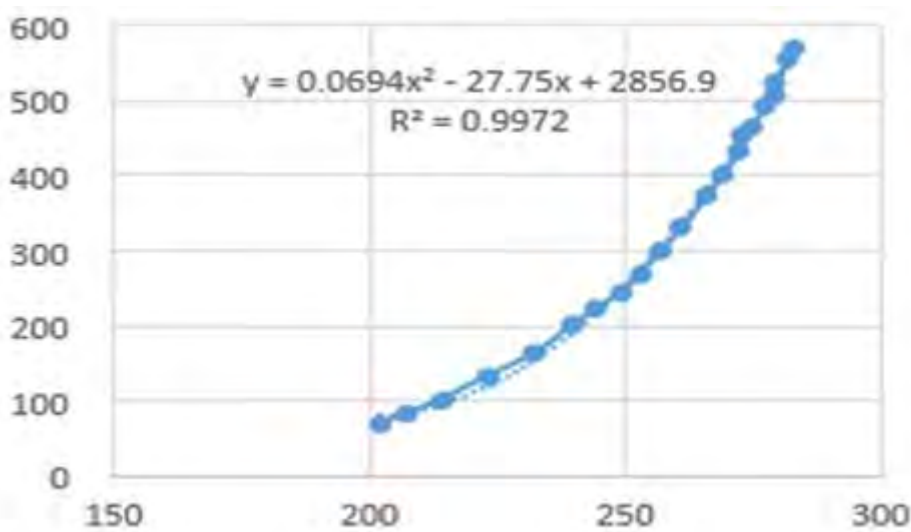
濃硫酸加在小燒杯中，並慢慢加入甲酸以產生純粹的一氧化碳，並藉由風扇的循環，使這個封閉空間的濃度達成一致。



(圖 7) 氣體感測器校正實驗化學反應生成一氧化碳以及儀器配置上視圖，圖右上方黃框中為立體斜視圖。



(圖 8) MQ-9 氣體感測器校正實驗裝置



(圖 9) ADC 與 ppm 進行線性回歸

線性回歸後得出關係曲線，發現系統偵測 ADC 值與市售標準儀器偵測濃度的相關性相當高， R^2 高達 0.9972，此結果顯示，我們這套系統，對於一氧化碳濃度偵測的準確度，完全不亞於昂貴的市售標準儀器。對於系統應用於一氧化碳中毒預防上，我們深具信心。

4-2 系統功能設定

我們開發的這一套系統必須能在火災發生的第一時間，透過氣體濃度偵測，發出警報聲響，並在災害擴大前的危急時刻擊破強化玻璃，幫助人員逃生，並使救災任務順利進行，避免在一線救災的消防隊員暴露在閃燃與爆燃的風險之中。

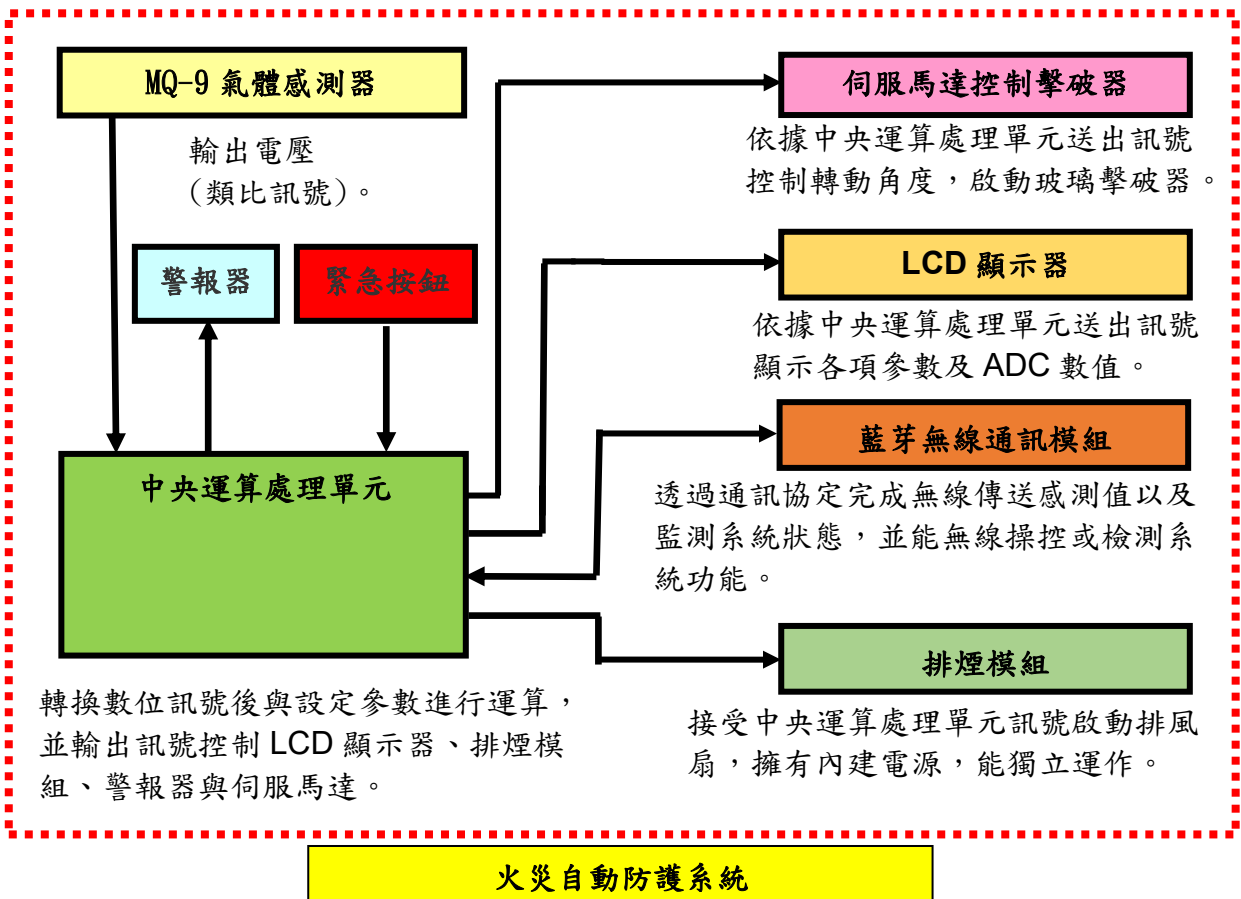
另外我們針對火場首要危害：濃煙，設計了排煙模組，排煙模組能及時向外排煙，可使火場呈現負壓狀態，延後火勢的擴張，降低延燒的可能性；對於像大眾運輸工具般的狹小空間，更能透過排煙爭取逃生的時間。

對於這樣珍貴的救命設備，本身的可靠程度相當重要，我們設計

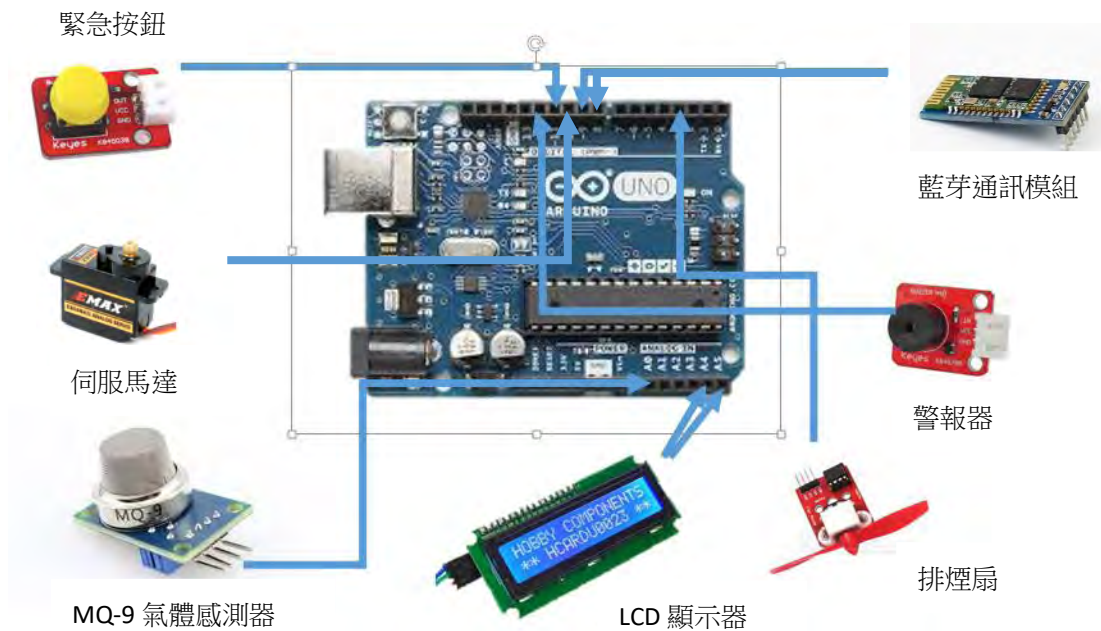
即使電路部分被燒毀，強化玻璃擊破器與排煙模組仍可正常動作，並且能透過藍芽訊號傳送訊息到手機上，使人員能及時監測火場條件，不會貿然行動造成傷亡。

此外，透過藍芽訊號，我們也可以即時了解系統是否正常運作，使用者能透過手機進行系統參數的重設，也可以透過手機直接觸發強化玻璃擊破器，達成遙控救災的效果。

4-3 系統架構



(圖 10) 火災自動防護系統設計架構示意圖。



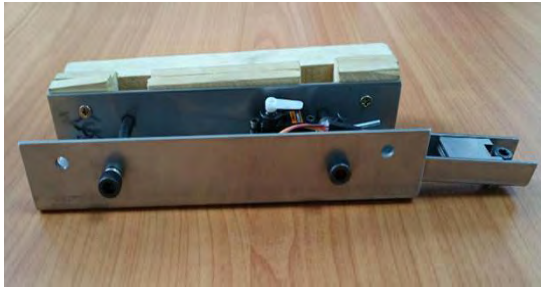
(圖 11) 火災自動防護系統元件對照。

4-4 玻璃擊破器

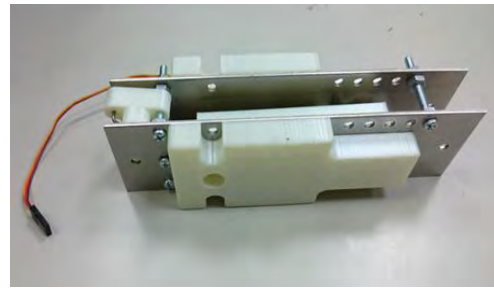
針對玻璃擊破的需求，我們設計了兩套機械裝置，能在需要的時候對玻璃進行擊破，這完全是因應目前的現實狀況，也許未來建築設計或車體建造時能設計為窗戶在災難發生時能自動開啟，但現況只有擊破一途。

擊破器威力強大，它能透過伺服馬達小小的轉動力量，即釋放出預先儲存的彈力位能，經由實測結果證明，它能有效的擊破玻璃。此外，我們利用 3D 列印製造熱塑性關鍵部件，如果玻璃擊破器遇到大火焚燒，電子電路的部分完全失效，玻璃擊破器依然能將玻璃擊破。

兩套擊破器可針對不同的需求應用於不同場合，但原則上第二代的擊破器在效能與特性上均優於第一代。第二代玻璃擊破器的機械結構更為可靠、有效，其擊破動作完全不受環境條件干擾。



(a)



(b)

(圖 12) 自製強化玻璃自動擊破器(a) 第一代 (b) 第二代

本研究所發展之強化玻璃自動擊破器目前已經進行專利申請，在專利申請審查過程中，我們暫不提供自動擊破器的設計細節。

4-5 手機 APP 應用程式

基於希望達成人員能及時監測火場條件，不會貿然行動造成傷亡。並且能即時了解系統是否正常運作，甚至透過手機直接觸發強化玻璃擊器或更改設定參數，達成遙控救災的效果等目的，我們另外完成一個手機 APP 應用程式。

APP 應用程式功能設定為，手機能透過藍芽通訊協定接收系統傳送 ADC 數值並顯示；手機上有一個虛擬按鈕(Emergency)，能觸發強化玻璃擊器。



(圖 13) App Inventor 2 Designer 的手機畫面設計

以下是我們根據手機功能設定進程式編寫的程式片段與功能說明

自動擊破器手機操控程式

程式啟動初始設定

```
when Screen1.Initialize
do
  set bluetooth_on.Enabled to true
  set bluetooth_off.Enabled to false
  set button_read.Enabled to false
  set bluetooth_on.TextColor to blue
  set bluetooth_off.TextColor to red
  set button_read.TextColor to yellow
```

藍芽連線設定

```
when bluetooth_on.BeforePicking
do
  set bluetooth_on.Elements to BluetoothClient1.AddressesAndNames
```

藍芽連線程序

```
when bluetooth_on.AfterPicking
do
  if call BluetoothClient1.Connect
    address: bluetooth_on.Selection
  then
    set bluetooth_on.Enabled to false
    set bluetooth_off.Enabled to true
    set button_read.Enabled to true
    set bluetooth_on.TextColor to blue
    set bluetooth_off.TextColor to red
    set button_read.TextColor to yellow
```

藍芽斷線程序

```
when bluetooth_off.Click
do
  call BluetoothClient1.Disconnect
  set bluetooth_on.Enabled to true
  set bluetooth_off.Enabled to false
  set button_read.Enabled to false
  set bluetooth_on.TextColor to blue
  set bluetooth_off.TextColor to red
  set button_read.TextColor to yellow
```

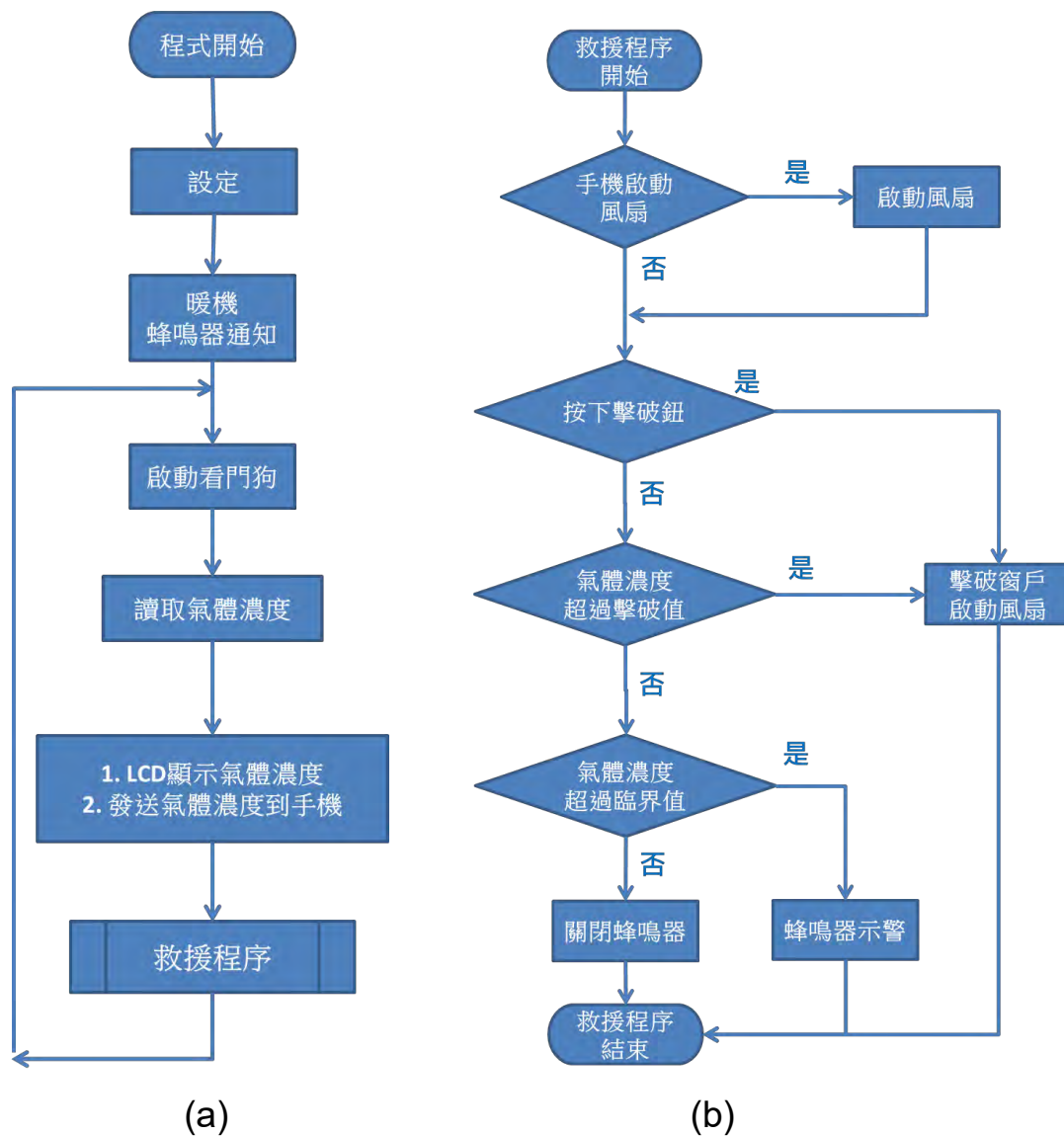
讀取氣體感測值

```
when button_read.Click
do
  set Label_gas_value.Text to call BluetoothClient1.ReceiveSigned1ByteNumber
```

手機啟動擊破裝置，
並發出語音火警警報

```
when emergency.Click
do
  call BluetoothClient1.SendText
    text: "a"
  call TextToSpeech1.Speak
    message: "火警警報"
```


4-6 中央處理單元程式邏輯：



(圖 14) 中央處理單元控制流程圖(a)主程式 (b)救援程序副程式

伍、研究結果與討論

5-1 穩定性測試

火災自動防護系統涉及將玻璃擊破，這若發生在沒有火災的時候是絕對不允許的。為了確定本系統穩定可靠，我們將系統裝置在老師的車輛上進行穩定性測試。在開機的狀態下，車輛進行日常的使用，測試日期為 2017 年 2 月 11 至 2 月 18 日，系統未有任何誤動作，其中有 2 次為測試系統功能是否正常運作，我們按下緊急按鈕，日期分別是 2 月 16 日與 2 月 18 日，系統正常運作。

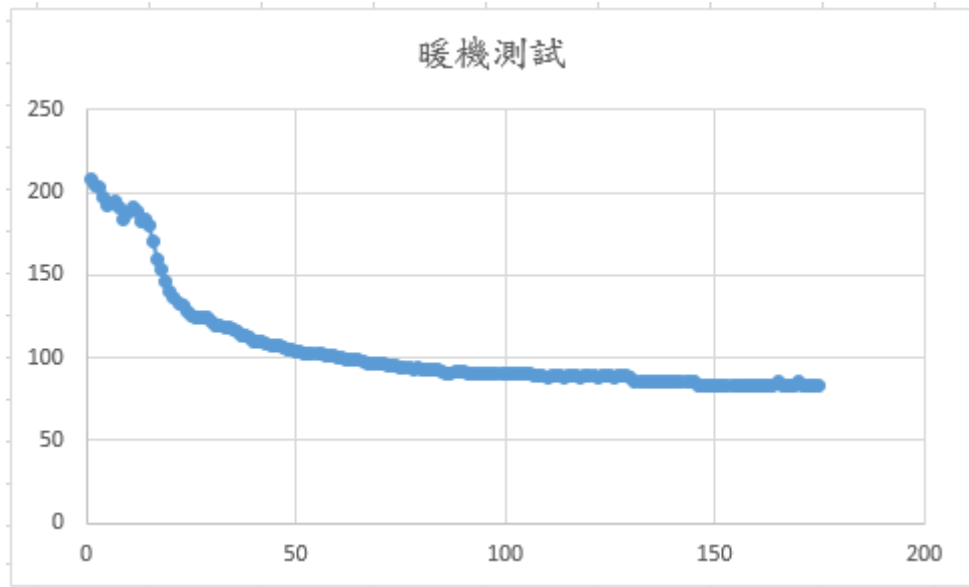


(圖 15) 老師的愛車幫我們做系統穩定性測試

5-2 暖機測試

根據原廠資料，必須將 MQ-9 氣體感測器通上電並持續通電 50 小時以上進行暖機，感測器的感測才會準確。但在實際的測試結果中發現，大約 3 分鐘的時間，感測器的 ADC 輸出值已經降到 78，這非常接近乾淨空氣中的 ADC 輸出值 60。

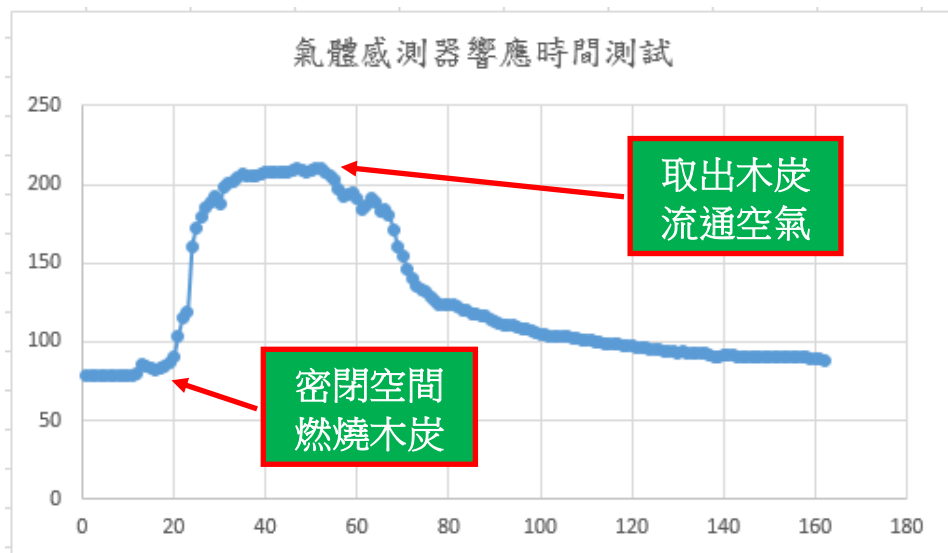
本系統實際應用需求並不是為了精確偵測氣體濃度，因此將暖機時間設定為 5 分鐘。



(圖 16) 感測器輸出與暖機時間關係圖，橫軸時間單位為秒

5-3 氣體感測器響應時間測試

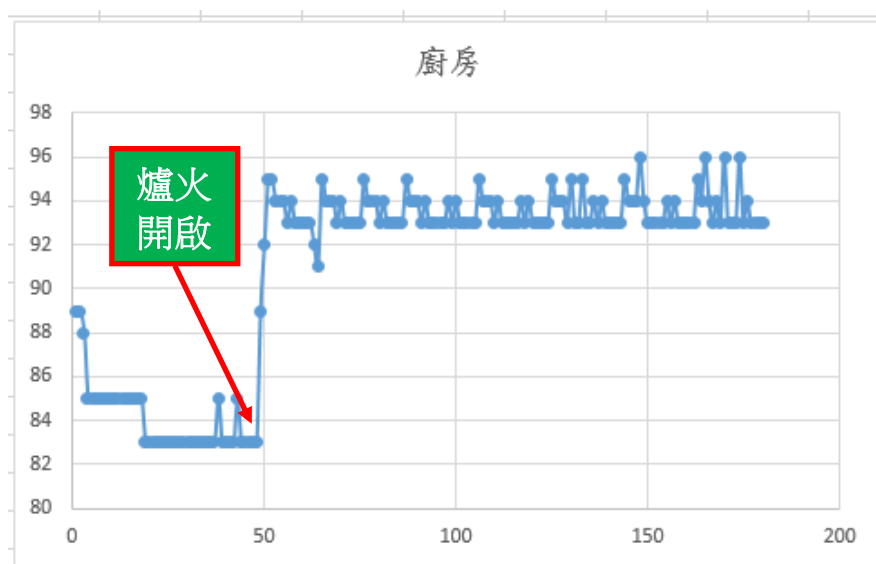
我們在缺氧的情況下進行木炭的燃燒，盡可能的產生一氧化碳，經過實測發現，MQ-9 氣體感測器的響應速度非常快，而且 ADC 輸出值變化幅度大，訊號輸出穩定，相當符合需求。



(圖 17) 感測器響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒

5-4 居家生活環境測試 (廚房)

在廚房的瓦斯爐邊 30CM 的地方進行測試，在爐火開啟的瞬間，ADC 輸出值有明顯的波動，然可能因燃燒較為完全，數值變動幅度並未如木炭缺氧燃燒時明顯。



(圖 18) 感測器響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒

我們參考文獻中不同濃度下一氧化碳對人體的影響，進行數值換算，再加上環境中的實測值，我們決定將就高於一般環境中的背景值最大極限進行評估之後，決定機器參數設定

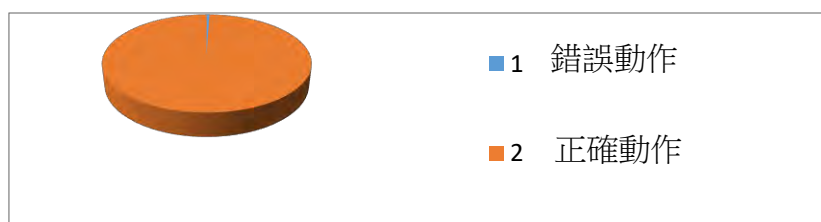
警戒值設定為 ADC 輸出 120 危險值設定為 ADC 輸出 160

不同濃度下一氧化碳對人體的影響	
人體所能承受的安全範圍	50 ppm
人體吸收後一個小時內不會出現不良反應的	400 to 500 ppm
一個小時後引起不舒服的症狀	1000 to 2000 ppm
一個小時後會出現危險的反應	1500 to 2000 ppm
在一個小時內就已經出現致命的症狀	4000 ppm 以上

5-5 緊急按鈕測試

為了避免氣體感測器失靈而延誤系統做出反應，我們設計在任何情況下按下緊急按鈕，系統會立即進行排煙及玻璃擊破。在實際應用上我們可採用帶燈按鈕，以便在煙霧瀰漫的空間中能順利操作。

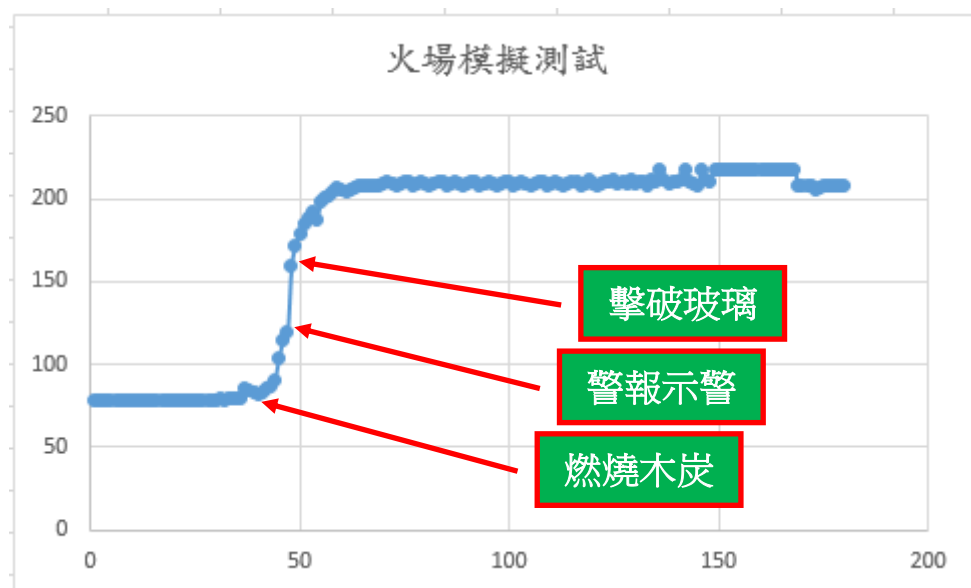
我們對緊急按鈕進行運轉測試，結果在 200 次的測試中的第 22 次，出現唯一的一次誤動作。查出原因是因為保護殼底座太高所導致，加入墊片後錯誤不再發生。



(圖 19) 緊急按鈕測試結果

5-6 火場模擬測試

我們利用燃燒木炭在水族箱內模擬火災發生，所有的動作都正確執行，但因氣體感測器的響應很快，感覺上警報器、風扇與玻璃擊破器的動作，幾乎是一氣呵成。



(圖 20) 火場模擬響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒



(圖 21) 強化玻璃擊破瞬間

5-7 餐飲營業場所測試

為了確信我們的設計能廣泛應用到一般的生活之中，我們特別商請老師帶我們到最可能在非火災的情況下產生煙霧瀰漫的環境。為了這次測試，我們另外完成一個程式，它能精確的顯示實驗中的瞬間 ADC 輸出最大值。在燒烤店 2 小時的實測結果中，我們甚至刻意讓烤盤起火，得到瞬間 ADC 輸出最大值 = 68。該值距離警戒值仍有相當的範圍，我們確信在這樣的場所是安全的，同時我們的系統也不會發出警報，或任何的誤動作。



(圖 22) 研究過程中最快樂的一次實驗，老師買單 !!!

5-6 火場實地測試

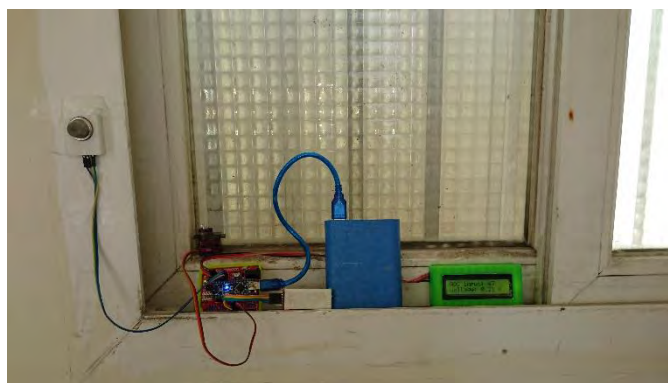
這是我們完成手機即時監控功能之後所進行的測試，目的是了解這套系統是否能如我們設計的功能，準確無誤的將火場偵測訊號傳送到手機上；此外我們也希望透過本次實驗了解這套系統在近乎真實火場的反應情況。

由於本次的實驗具有相當的危險性，學校反對我們在校園中進行〔火場實地測試〕，幸好補習班班主任聽到我們的困難之處，二話不說，立即同意我們在頂樓的小倉庫進行實驗。

小倉庫空間不大(寬 2.2 公尺、深 4.3 公尺、高 2.3 公尺)，關上門窗之後的密閉性相當良好，很適合用來模擬大眾運輸工具的火災型態。我們在鐵桶中預備可燃性物質，內容包含塑膠瓶，紙張，合成纖維，人造皮革，用以模擬車上可能存在的可燃物，總重約為 1.3 公斤。接著我們以燒紅的木炭點燃可燃物，並將門窗緊閉，開始 30 分鐘的實驗紀錄。



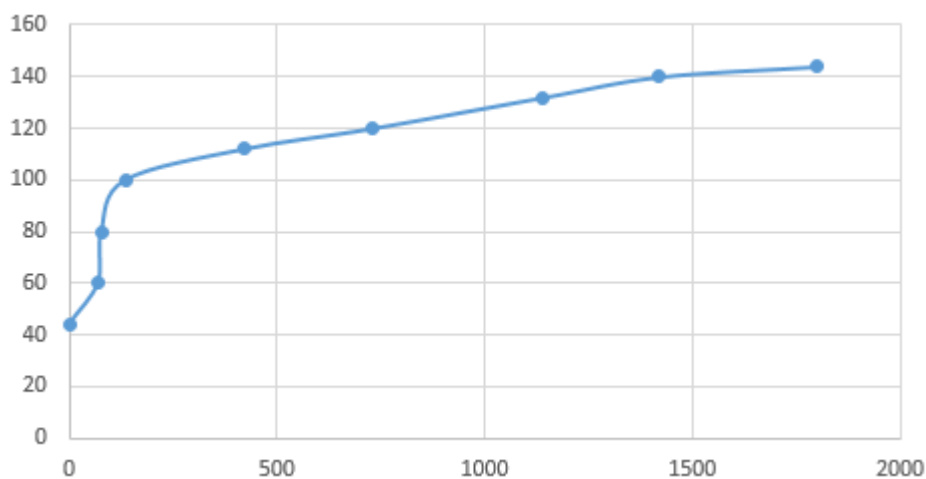
(圖 23) 小倉庫的外觀



(圖 24) 火災防護系統在屋內裝設情形

在進行火場實地測試時我們觀察到，我們加入木炭後並沒有產生預期的濃煙，也沒有出現明顯的火光，研判燒紅的木炭並未將可燃物引燃，可燃物在木炭的高溫下產生不完全的燃燒與汽化。

雖然燃燒情況不如預期，但由 ADC 輸出值的快速劇烈變化，可以看出自動火災防護系統，仍然有相當強烈的響應，相信這套系統在真實的火災中必定能良好的發揮它的救災功能。



(圖 25) 火場實地測試響應時間，橫軸時間單位為秒

陸、結論

在本次的科展實驗中，我們成功的研發出一套可偵測一氧化碳濃度並依該濃度變化告警或擊破強化玻璃的協助火災逃生的輔助設備，該設備具有以下功能：

1. 可偵測一氧化碳、甲烷等有毒及可燃燒氣體。
2. 可在有害氣體濃度明顯高於環境正常值時，提早告警並啟動風扇進行初步的風險排除。
3. 當有害氣體濃度高於危險值時，擊破強化玻璃輔助逃生。
4. 設有緊急按鈕，可依需求強迫設備動作以協助逃生。
5. 可用藍芽連接手機等無線裝置，遠端無線遙控設備動作或檢測設備是否正常運作。

對於初步的結果，我們相當滿意，但若還有機會，我們想進行更深入的研究，以下是我們未來的目標：

1. 模擬一般住家火災，交通工具火災測試。
2. 感測器與標準儀器進行校正，並以程式直接校正。
3. 研究一般環境中可燃性氣體與一氧化碳濃度的背景值，包含廚房，餐廳，火鍋店，燒烤店。
4. 研究火場中可燃性氣體的爆炸下限濃度
5. 機器的可靠性研究，耐震度(使用於更多種類交通工具上)，進行錯誤率統計
6. 再強化玻璃擊破器設計。
7. 誤動作的可能與防範(保險裝置)。
8. 偵測溫度異常也能動作。
9. 能使用手機進行參數設定，以適用於不同場合。
10. 加入智慧通報功能，以 wifi 模組透過網路傳遞與監控。
11. 智慧型防災，切斷瓦斯，局部斷電。

柒、參考文獻

1. 蕭維鈞 (2004 奈米 SnO₂ 氣體感測器)，南台科技大學
2. 曾暄哲 (2011 火災警報系統)，逢甲大學自動控制工程學系
3. 吳炳勳 (2011 智慧型技術應用於建築防火之可行性研究)，中華大學營建管理學系碩士班碩士論文
4. 王翎雅 (2015 桃園縣建築物火警空間特性分析)，國立中央大學土木工程學系碩士論文
5. 林鴻明 (2007 奈米氣體感測技術)，大同大學材料工程學系
6. Henan Hanwei Electronics Co., Ltd datasheet for MQ-9 Semiconductor Sensor for CO/Combustible Gas
7. 游惟翔 (2014 居室夾層簡易二層法之研究)，國立交通大學機械工程學系碩士論文
8. 康尚澤 (2012 智慧型火災逃生指引系統)，國立勤益科技大學電子工程系研究所碩士班碩士論文
9. 黃上游 (2015 低層住宅火害因子及防救災策略之探討)，大同大學工程學院工程管理碩士在職專班碩士論文
10. 高任瑋 (2005 超高層建築物火災避難決策支援系統之研究)，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士學位論文
11. 曾暄哲 (2004 火災警報系統)，逢甲大學自動控制工程學系專題製作專題論文

【評語】 030801

1. 具理論基礎，並經驗證。可依一氧化碳濃度變化，啟動協助火災逃生的輔助設備，具實用價值。
2. 研究者很用心搜尋相關器材，以 Arduino 藍芽控制救火系統，很有意義。
3. 氣體感測選用的市售的感測器，搭配程控軟體，並無新穎性。強化玻璃自動擊破器則已申請並獲專利。
4. 要有防止局部濃煙，誤啟動擊破裝置，建議用簡易的靈敏度高中低來設定擊破與否之關係。

摘要

強化玻璃具有相當優異的物理性質，故目前廣泛的運用於各種建築物與交通工具上。但近來幾個重大的火災事故卻發現，火災當下強化玻璃給予救災者的搶救與受難者的逃生都帶來極大的阻力。因此我們透過此研究找出解決的方法，並設計一套裝置，能在災害發生時發揮作用，降低生命與財產的損失。

壹、研究動機

105年7月19日，發生了可怕的火燒車意外，相信所有的人有一個共同的想法，怎麼不打破玻璃逃生？後來我們在電視節目中看見曾經遭遇火燒車的民眾分享當時的經驗，我們才理解到，在密閉空間發生火災時，人們會處於極度慌亂的情緒中，加上濃煙對感官的刺激與濃煙產生之快速，都超乎人們的想像。



薄薄的玻璃後面，
是人間的煉獄！

更有消防隊員現身說法，就算是身上裝備精良，也難逃火場的兩大殺手，濃煙與閃燃！！現代的高樓建築常使用強化玻璃作玻璃帷幕，及時將它們擊破對於救災而言是重大的進展。

貳、研究目的

本研究希望透過分析濃煙、閃燃與爆燃的發生原因，設計一套能在緊急時刻自動反應，以降低這類火災發生時造成生命與財產損失的自動防護系統。

參、主要研究設備與儀器

1. MQ-9 氣體感測器

MQ-9 氣體感測器對一氧化碳、甲烷、液化石油氣偵測的靈敏度高，這種感測器可檢測多種含一氧化碳及可燃性的氣體，是一款適合多種應用的低成本感測器。



2. Arduino 控制器

一種開放原始碼的單晶片微控制器，採用了開放原始碼的軟硬體平台，是相當方便使用的可程式單晶片。在本研究中，Arduino 控制器作為中央運算處理器。



3. EMAX ES08A 伺服馬達

藉由編碼器感測馬達旋轉並回饋的方式，可控制旋轉角度，多用於需要高精密度控制的用途中，此特性正符合本研究啟動玻璃擊破器的需求。



4. Arduino 藍芽模組

適合手機跟設備間通過藍牙串列埠配對通信，通訊距離約 8-10 公尺。



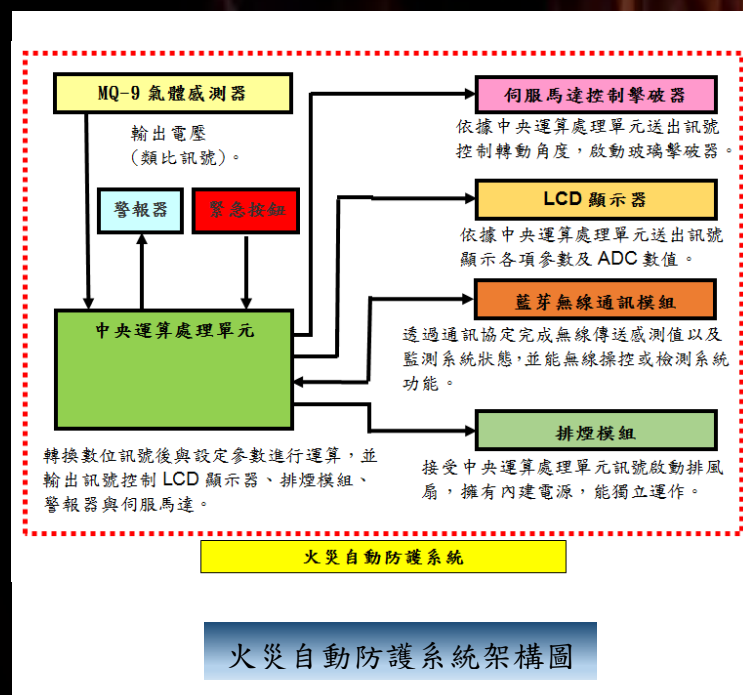
肆、研究過程與方法

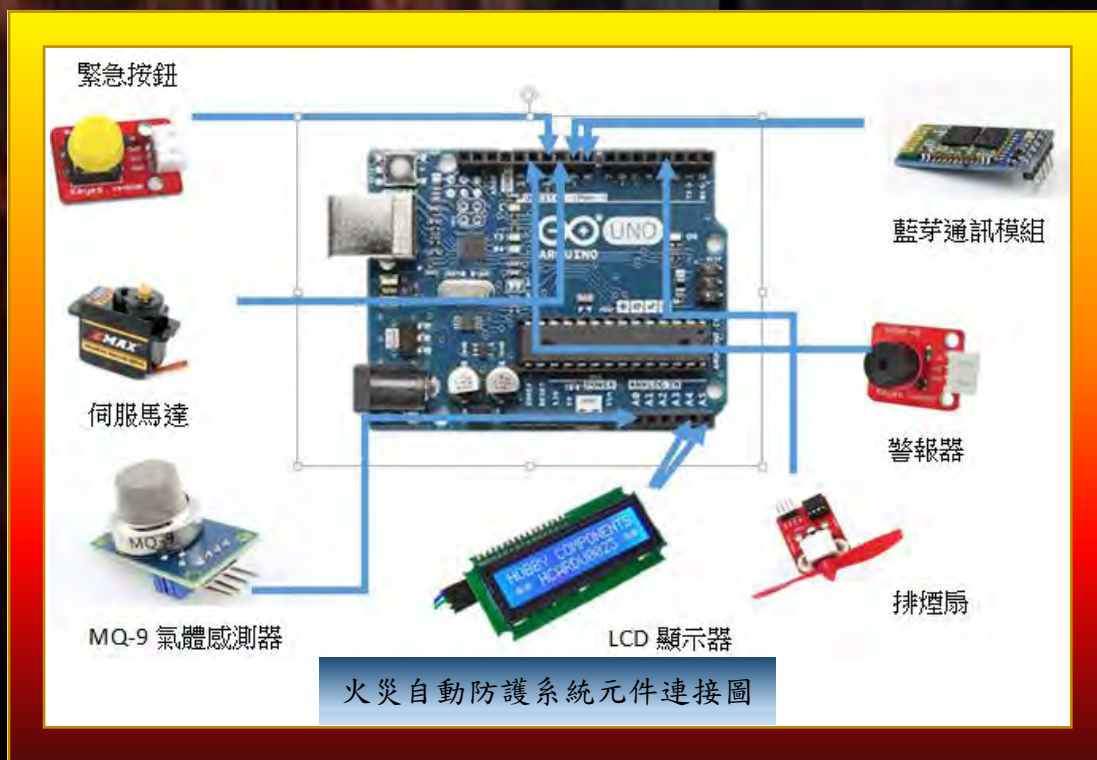
系統功能設計

我們開發的這一套系統必須能在火災發生的第一時間，執行以下功能：

1. 透過氣體濃度偵測，發出警報聲響，並在災害擴大前的危急時刻擊破強化玻璃，幫助人員逃生，並使救災任務順利進行，避免在一線救災的消防隊員暴露在閃燃與爆燃的風險之中。
2. 針對火場首要危害—濃煙，設計了排煙模組。排煙模組能及時向外排煙，可使火場呈現負壓狀態，延緩火勢的擴張，降低延燒的可能性；對於像大眾運輸工具般的狹小空間，更能透過排煙爭取逃生的時間。
3. 能透過藍芽訊號傳送訊息到手機上，使人員能及時監測火場條件，不會貿然行動造成傷亡。更可以即時了解系統是否正常運作；使用者還能透過手機進行系統參數的重設，也可以透過手機直接觸發強化玻璃擊破器，達成遙控救災的效果。

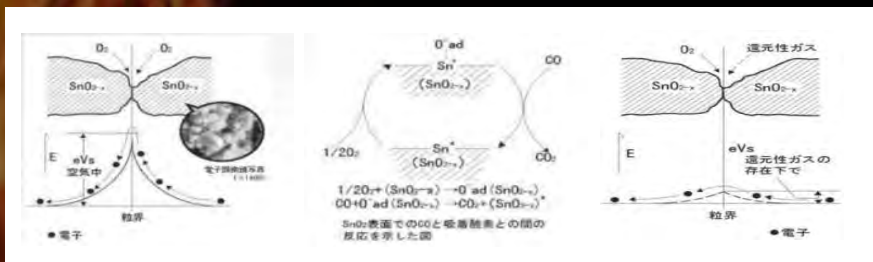
針對以上功能，我們設計出火災自動防護系統的方塊圖如下：





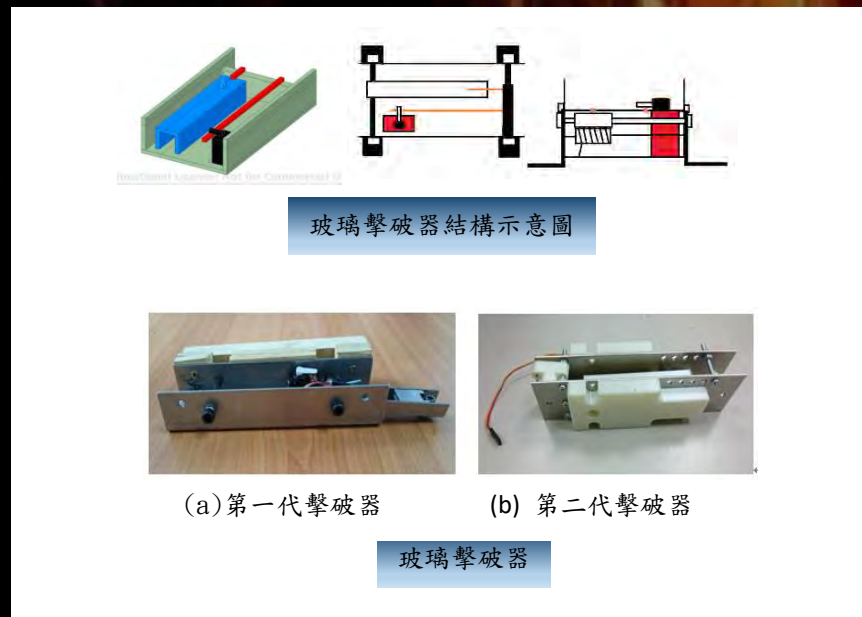
半導體氣體感測器工作原理(SnO₂ 氣體感測器)

1. 氣體感測器就是將氣體(一般指空氣)中含有的特定氣體，以適當的電訊號(電流,電壓,電阻)轉換成可以監測或計量的元件。
2. TGS 半導體式氣體感測器主要由 SnO₂ 的 N-Type 和加熱器所組成。在乾淨空氣中會吸附空氣中的氧，形成氧的負離子吸附，使半導體中的電子密度減少，電阻值增加；當吸附還原性氣體時，會讓原來吸附的氧脫離，氧化物半導體電子密度增加，電阻值下降使導電率上升。當恢復到乾淨空氣時，金屬氧化物半導體又會自動恢復氧的負離子吸附，使電阻值升高到原本的狀態。感測器就是藉由這些導電率的變化以輸出電壓的方式取出，從而檢測出氣體的濃度。



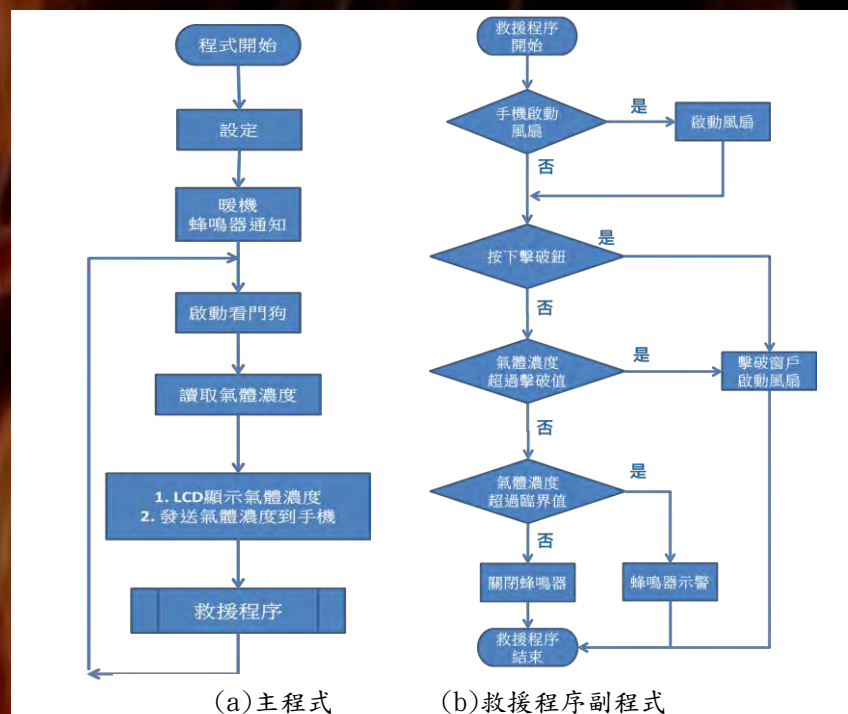
玻璃擊破器

玻璃擊破器為本科展研究計畫的發想重心，為獨立開發及創新之設計，目前市面上並未見到類似機構甚或類似功能之產品。



程式控制流程

本裝置以 Arduino 作為中央處理單元，統合監測、通訊及控制等所有功能。



中央處理單元控制流程圖

手機端 APP

除以 Arduino 為主控中心，可透過 LCD 輸出氣體濃度讀取值外，為了操作上的方便，尚可用手機進行所有功能的遠端監控，故自行開發 APP 如下。



火災自動防護系統 App 設計畫面

伍、研究結果與討論

5-1 穩定性測試

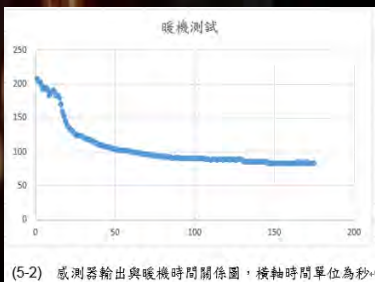
為確定本系統穩定可靠，我們將系統裝置在老師的車上，在開機的狀態下，車輛進行日常使用，測試日期為2017年2月11日至2月18日，未有任何誤動作且各功能正常運作。



(5-1) 老師的愛車幫我們做系統穩定性測試。

5-2 暖機測試

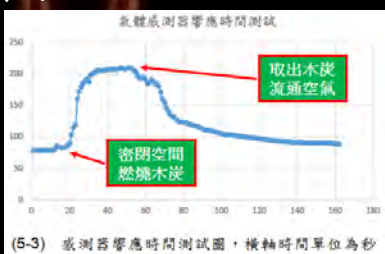
根據原廠資料，MQ-9氣體感測器需通電50小時進行暖機。但實測發現，僅約3分鐘，感測器的ADC輸出值已降到78，接近乾淨空氣中的輸出值60。因本系統並非為偵測精確氣體濃度，暖機時間設為5分鐘。



(5-2) 感測器輸出與暖機時間關係圖，橫軸時間單位為秒。

5-3 氣體感測器響應時間測試

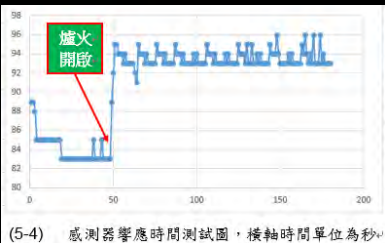
我們在缺氧的情況下進行木炭燃燒，以產生一氧化碳。經實測發現，MQ-9氣體感測器的響應速度非常快速，而且數值變化幅度大，訊號輸出穩定，相當符合需求。



(5-3) 感測器響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒。

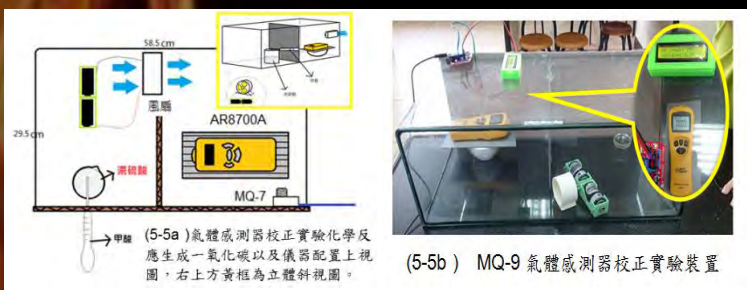
5-4 居家生活環境測試

在廚房的瓦斯爐邊30CM的地方進行測試，在爐火開啟的瞬間，數值有明顯的波動，代表感測器反應靈敏。



(5-4) 感測器響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒。

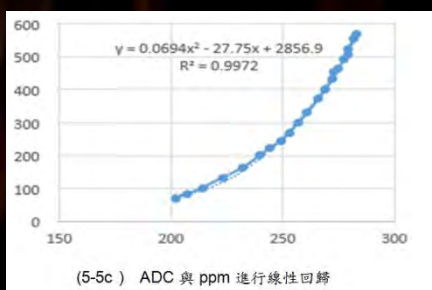
5-5 氣體感測器校正



(5-5b) MQ-9氣體感測器校正實驗裝置

在封閉空間內以化學反應產生一氧化碳以進行儀器校正。

本系統偵測ADC值與市售標準儀器偵測濃度的相關性 R^2 高達0.9972。代表我們這套系統對於一氧化碳濃度偵測的準確度，完全不亞於昂貴的市售標準儀器。



(5-5c) ADC與ppm進行線性回歸

5-6 緊急按鈕測試

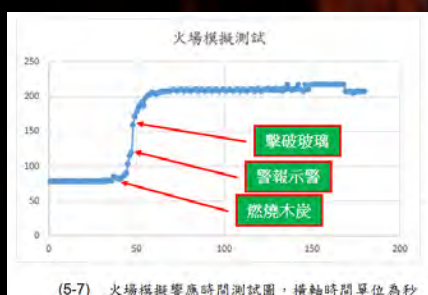
我們對可立即進行排煙及玻璃擊破的緊急按鈕進行運轉測試，在200次的測試中的第22次，出現唯一的一次誤動作。查出原因是因為保護殼底座太高所導致，加入墊片後錯誤不再發生。



(5-6) 緊急按鈕測試結果

5-7 火場模擬測試

我們利用燃燒木炭在水族箱內模擬火災發生，所有動作都正確執行。



(5-7) 火場模擬響應時間測試圖，橫軸時間單位為秒。

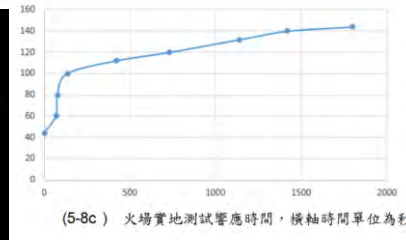
5-8 火場實地測試

實地測試真實火場反應情況並測試手機無線監控功能，實驗場地位於頂樓的一處小倉庫。



(5-8a) 小倉庫的外觀 (5-8b) 火災防護系統在屋內裝設情形

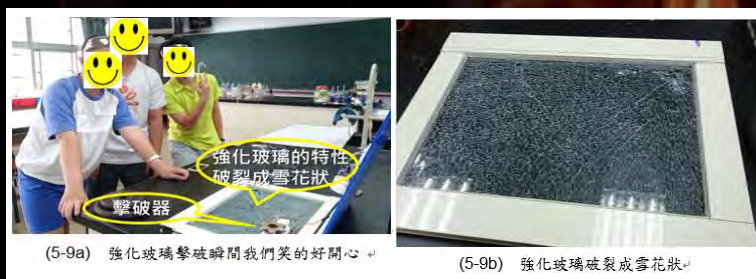
由ADC輸出值的快速劇烈變化，可看出本系統有相當強烈的響應，相信在真實的火災中必定能良好的發揮它的救災功能。



(5-8c) 火場實地測試響應時間，橫軸時間單位為秒。

5-9 強化玻璃擊破器功能測試

經由實測結果證明，強化玻璃擊破器威力強大，能有效的擊破玻璃。此外，我們用3D列印製造熱塑性關鍵部件，如果玻璃擊破器遇到大火焚燒，電子電路的部分完全失效，玻璃擊破器依然能將玻璃擊破。強化玻璃在擊破之後會完全碎裂成小顆粒，不會對人體造成嚴重傷害，逃生通道瞬間產生。



(5-9a) 強化玻璃擊破瞬間我們笑的好開心。

(5-9b) 強化玻璃破裂成雪花狀。

陸、結論

我們成功的研發出一套可偵測一氧化碳濃度並依該濃度變化告警或擊破強化玻璃的協助火災逃生的輔助設備，具有以下功能：

1. 可偵測一氧化碳、甲烷等有毒及可燃燒氣體。
2. 在有害氣體濃度明顯高於環境正常值時，提早告警並啟動風扇進行初步的風險排除。
3. 當有害氣體濃度高於危險值時，擊破強化玻璃輔助逃生。
4. 設有緊急按鈕，可依需求強迫設備動作以協助逃生。
5. 用手機等無線裝置，遠端無線遙控設備動作或檢測設備是否正常。

對於初步的結果，我們相當滿意，但若還有機會，我們想進行更深入的研究，以下是我們未來的目標：

1. 模擬一般住家火災、交通工具火災測試。
2. 感測器與標準儀器進行校正，且可程式校正。
3. 研究常見環境中可燃性氣體與一氧化碳濃度的背景值，包含廚房，餐廳，火鍋店，燒烤店等。
4. 研究火場中可燃性氣體的爆炸下限濃度。
5. 機器的可靠性研究，耐震度(使用於更多種類交通工具上)，進行錯誤率統計。
6. 再強化玻璃擊破器設計。
7. 誤動作的可能與防範(保險裝置)。
8. 加入感溫元件，偵測到溫度異常時也能動作。
9. 能使用手機進行參數設定，以適用於不同場合。
10. 加入智慧通報功能，以wifi模組透過網路傳遞與監控。
11. 智慧型防災，切斷瓦斯，局部斷電等。